



Beschreibung

Vertikallaserdiode mit Mittel zu Strahlprofilformung

- 5 Die Erfindung betrifft eine Laserdiode mit einem Vertikalresonator nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1 und ein optisches System mit einer solchen Laserdiode nach Anspruch 14.
- 10 Vertikallaserdioden sind beispielsweise bekannt in den Materialsystemen InAlGaAsN oder InAlGaP auf GaAs-Substrat, InAlGaAsP auf InP-Substrat oder InAlGaAsN auf Saphir oder SiC-Substrat und in ihren Grundzügen in K. J. Ebeling, Integrated Optoelectronics, Springer Verlag 1993,
- 15 beschrieben.

- Kennzeichnend für diese Vertikallaserdioden ist, dass die Vertikallaserdioden aktive Multiquantumwellschichten zur Lichterzeugung und monolithisch oder hybrid integrierte
- 20 Bragg-Reflektoren enthalten, die den optischen Fabry-Perot Resonator bilden. Zur Stromeinschnürung in der Vertikallaserdiode werden selektive laterale Oxidation, Protonenimplantation oder Mesaätzen eingesetzt, die neben thermischen Effekten auch die optische Wellenführung in den
- 25 Strukturen bestimmen.

- Bei den bekannten Vertikallaserdioden ist es nachteilig, dass die strukturinduzierte transversale Modenselektion nicht besonders effizient ist, so dass reine Emission auf der
- 30 transversalen Grundmode nur in Strukturen mit kleinen Durchmessern und bei vergleichsweise geringen Ausgangsleistungen zu beobachten ist.

- Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, eine
- 35 Vertikallaserdiodenstruktur anzugeben, die eine stabile Strahlprofilformung ermöglicht.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch eine Laserdiode mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst.

Wesentlich an der Erfindung ist die Einbringung eines Mittels zur Strahlprofilierung, wobei das Mittel mindestens ein Absorbermittel mit einem ausbleichbaren (sättigbaren) Absorber aufweist.

Das mindestens eine ausbleichbare Absorbermittel bevorzugt Emission der mit höchster optischer Intensität dominierenden transversalen Mode (z.B. transversale gaußscher Grundmode mit ihrem Intensitätsmaximum auf der Achse), da das Ausbleichen des Absorbers an den Orten größter Intensität am stärksten ist.

Ausbleichbare Absorber oder ausbleichbare Quantenfilme sind an sich als optische Absorber mit nichtlinearem Absorptionsverhalten bekannt. Die Transmission der ausbleichbaren Absorber hängt von der eingestrahlten Strahlungsintensität ab. Bei steigenden Leistungsdichten nimmt die Absorption ab; bei sehr hohen Leistungsdichten wird der Absorber im wesentlichen transparent. Die Verwendung von Absorbermitteln ist bei Halbleiterlasern grundsätzlich bekannt (z.B. aus der US-A-5,574,738), wobei diese Absorbermittel nur dazu eingesetzt werden, bestimmte Wellenlängen der Strahlung zu absorbieren, um Selbstmodulation der Laserdiode im GHz-Bereich zu erreichen.

Die Erfindung bezieht sich darauf, dass Licht im Vertikalresonator grundsätzlich eine inhomogene Intensitätsverteilung über den Strahlquerschnitt aufweist, wobei das ausbleichbare Absorbermittel dafür sorgt, dass das Licht an den Stellen hoher Intensität im Absorbermittel nur wenig gedämpft wird.

Damit lassen sich Absorptionsverluste der dominierenden Transversalmode (z.B. gaußförmigen transversalen Grundmode)

in Laserdioden mit Vertikalresonator besonders klein halten, so dass die Emission auf dieser Transversalmode (z.B. der Grundmode) bevorzugt wird. Damit wird in effizienter Weise eine Strahlprofilierung erreicht.

5

Bei geeigneter Einstellung der Grundabsorption für geringe Lichtleistungen und der stromabhängigen optischen Verstärker im Laser kann es zu Selbstpulsationen sowie optischer und elektrischer Bistabilität kommen.

10

Diese Betriebsform wird in optischen Abtastsystemen, zum Beispiel im CD-Player bevorzugt. Darüber hinaus fördert die lokale Ladungsträgergeneration durch Absorption im ausbleichbaren Absorbermittel die Strominjektion nahe der Achse der aktiven Zone, was wiederum vorteilhaft für die Grundmodenemission ist.

Auch lässt sich durch die Verwendung der erfindungsgemäßen Laserdiode die Dynamik des Ein- bzw. Abschaltvorganges optischer Datenübertragungsvorrichtungen verbessern. Bei diesen Vorgängen kommt es zum Anschwingen anderer, insbesondere höherer Transversalmoden. Die Verwendung eines ausbleichbaren Absorbermittels in der Laserdiode stabilisiert die Emission auf der dominierenden Transversalmode (z.B. transversalen Grundmode) und verhindert damit das unerwünschte Auftreten von Mustereffekten bei der Übertragung von digitalen Signalfolgen. Dadurch lassen sich höhere Datenübertragungsraten und ein stabileres Modenverhalten über einen weiten Temperaturbereich erreichen. Ferner ist damit ein Grundmodenbetrieb bei größeren Bauelementabmessungen möglich, so dass die erforderlichen Fertigungstoleranzen reduziert werden.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung wird ein pn-Übergang aus III-V oder II-VI-Verbindungshalbleitermaterial verwendet, da sich diese Materialien sich gut für Vertikallaserdioden eignen.

Für eine einfache Herstellbarkeit ist mindestens ein Absorbermittel monolithisch in eine Schichtenfolge integriert.

5

Für eine besonders effiziente Strahlprofilierung ist es vorteilhaft, wenn mindestens ein Absorbermittel im Fabry-Perot Resonator der Schichtenfolge der Vertikallaserdiode angeordnet ist. Absorber- und Verstärkerquantenfilme liegen dann vorteilhafterweise in der Strahltaile des Gauß-Strahls und gewährleisten eine optimale transversale Modenselektion.

10

Ferner ist es vorteilhaft, wenn mindestens ein Absorbermittel außerhalb der Verarmungszone des pn-Übergangs angeordnet ist.

15

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Laserdiode ist mindestens ein ausbleichbares Absorbermittel als Schicht im Vertikalresonator ausgebildet, wobei die Dicke der Schicht klein gegen ein Viertel der Materialwellenlänge ist. Auch ist es vorteilhaft, wenn mindestens ein Absorbermittel als Schicht ausgebildet ist, wobei die Dicke der Schicht größer ist als ein Viertel der Materialwellenlänge. Durch die Wahl der Schichtdicke einer oder mehrerer Schichten lässt sich das Absorptionsverhalten variieren.

20

25

Vorteilhaft ist es, wenn mindestens ein Absorbermittel ein Mittel zur Stromeinschnürung aufweist, insbesondere durch eine Kombination des Mediums des Absorbermittels mit einer Oxidblende oder einer Protonenimplantation. Damit kann die transversale Modenselektion unterstützt werden.

30

Ebenfalls ist es vorteilhaft, wenn die erfindungsgemäße Laserdiode zwei elektrische Zuführungen aufweist, jeweils eine für den p- und den n-Kontakt.

35

In vorteilhafter Weise verfügt eine Ausführungsform der

Laserdiode über ein Stromeinschnürungsmittel im Vertikalresonator.

Ein weitere Verbesserung der Modenselektion lässt sich
5 dadurch erreichen, wenn in vorteilhafter Weise mindestens eine Reflektorschicht im Vertikalresonator eine Reliefstruktur, insbesondere eine Fresnel-Linse aufweist.

Mit Vorteil ist im Vertikalresonator mindestens eine
10 Spacerschicht, insbesondere zwischen Absorberschicht und aktiver Zone angeordnet.

Des weiteren ist zur Beeinflussung der Emmissionswellenlänge vorteilhaft, wenn mindestens eine Schicht des
15 Vertikalresonators aus GaAsN oder InGaSbP besteht.

Eine vorteilhafte Anwendung findet die erfindungsgemäße Laserdiode in optischen Systemen, insbesondere in CD-Playern und Datenübertragungsanlagen.
20

Die Erfindung wird nachfolgend unter Bezugnahme auf die Figuren der Zeichnungen an mehreren Ausführungsbeispielen näher erläutert. Es zeigen:

25 Fig. 1 eine schematische Darstellung einer Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vertikallaserdiode;

Fig. 2 eine schematische Darstellung der erfindungsgemäßen Vertikallaserdiode als Ausschnitt der Fig. 1.

30

Der in Fig. 1 skizzierte Aufbau einer Vertikallaserdiode mit integrierter ausbleichbarer Absorberschicht 50 mit einem Absorbermittel 5 weist als unterste Schicht ein n-dotiertes GaAs-Substrat 1 auf, das mit einem GeNiAu-Kontakt 10 versehen
35 ist.

Auf das GaS-Substrat 1 ist ein ca. 4 μm dicker, erster

$\text{Al}_{0,7}\text{GaAs}_{0,3}$ -GaAs Bragg-Reflektor 2 mit einer Dotierung von $n=1 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ aufgewachsen.

5 Oberhalb des Bragg-Reflektors 2 ist eine n-dotierte ($n=5 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$) $\text{Al}_{0,3}\text{Ga}_{0,7}\text{As}$ -Trägereinfangschicht 3 und darüber eine undotierte aktive Zone 4 angeordnet. Die aktive Zone 4 weist drei 8nm dicke $\text{In}_{0,8}\text{Ga}_{0,2}\text{As}$ -Quantenfilme 4a mit ca. 50nm dicker GaAs-Begrenzungsschichten 4c und 10nm dicken GaAs-Barrieren 4b auf (siehe im Detail Fig. 2).

10

Oberhalb der aktiven Zone 4 befindet sich eine hier im einzelnen nicht dargestellte $\text{Al}_{0,3}\text{Ga}_{0,7}\text{As}$ -Trägereinfangschicht 51, die eine Dotierung von $p=5 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ aufweist (siehe Fig. 2). Diese Trägereinfangschicht 51 ist hier der gleich
15 dotierten Absorberschicht 50 zugeordnet (Fig. 2).

In der Absorberschicht 50 ist als ausbleichbares Absorbermittel 5 eine 8nm dicker $\text{In}_{0,2}\text{Ga}_{0,8}\text{As}$ Quantenfilm angeordnet. Dieser ist beidseitig von jeweils 10nm dicken
20 GaAs-Barrieren umgeben, wobei diese Schichten allesamt eine Dotierung von $p = 5 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ besitzen (siehe Fig. 2).

Als ausbleichbares Absorbermittel 5 als solche dient der $\text{In}_{0,2}\text{Ga}_{0,8}\text{As}$ Quantenfilm. Die Transparenz des Absorbermittels 5
25 nimmt mit wachsender Einstrahlungsintensität zu, so dass bei hohen Intensitäten das Absorbermittel im wesentlichen transparent wird. Die für das Ausbleichen kritische Intensität liegt bei solchen Quantenfilmen bei etwa 1 kW/cm^2 .

30 Die Absorberschicht 50 kann in den p- oder n-dotierten Bereich der Cladding-Schicht angeordnet werden. Werden mehrere Absorberschichten 50 verwendet, so können diese in beiden Bereichen der Cladding-Schicht angeordnet werden.

35 Die Stärke der gewünschten Absorption lässt sich durch die Materialzusammensetzung, die Dicke und die Lage der Absorberschicht(en) 50 relativ zu den Knoten und Bäuchen

eines Stehwellenfeldes 100 (siehe Fig. 2) gezielt einstellen

Auf der Absorberschicht 50 ist ein ca. $4\mu\text{m}$ dicker, mit $p=1\cdot 10^{18}\text{cm}^{-3}$ dotierter zweiter $\text{Al}_{0,7}\text{Ga}_{0,3}\text{As}$ -GaAs Bragg-Reflektor 6 angeordnet.

Den Abschluss bildet eine 10 nm dicke p^+ -dotierte GaAs-Kontaktschicht 7, um einen niederohmigen Anschluss an die p-Kontakte mittels eines TiPtAu-Kontaktes 20 zu gewährleisten.

Fig. 2 zeigt den Aufbau des Schichtenstapels zwischen den beiden Bragg-Reflektoren 2, 6 nach Fig. 1 im Detail.

Die Zusammensetzungen der Schichten wird durch die Skala am rechten Rand der Fig. 2 wiedergegeben. Die Variablen x und y geben dabei die Zusammensetzung des jeweiligen Verbindungshalbleiters $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ bzw. $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$ an.

Am oberen Rand der Fig. 2 ist die Zuordnungen der Schichten zu Fig. 1 angegeben, wobei die Schichten durch vertikale gestrichelte Linien angedeutet werden. Die Dicke der Schichten wird durch Bemaßungen angegeben. Ferner wird das sich ausbildende optische Stehwellenfeld 100 dargestellt. Die Dicken der Schichten sind an das Stehwellenfeld angepasst.

Am unteren Rand der Fig. 2 sind die Dotierungen der Schichten angegeben. Der Bereich A ist n-dotiert, der Bereich B ist undotiert, der Bereich C ist p-dotiert.

An der linken Seite der Schichtenfolge ist der erste Bragg-Reflektor 2, an der rechten Seite der zweite Bragg-Reflektor 6 angeordnet.

In der Mitte der Schichtenfolge liegt die aktive Zone 4, die drei $\text{In}_{0,8}\text{Ga}_{0,2}\text{As}$ -Quantenfilme 4a aufweist, die jeweils 8nm breit sind. Die aktive Zone 4 weist ferner 10nm dicke GaAs-Barrieren 4b und beidseitig ca. 50nm dicke GaAs-Begrenzungs-

schichten 4c auf.

Zwischen dem Absorbermittel 5 und der aktiven Zone 4 ist die
 5 $\text{Al}_{0,3}\text{Ga}_{0,7}\text{As}$ -Trägereinfangschicht 51, die eine Dotierung von
 $p=5 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ aufweist, angeordnet.

Das Absorbermittel 5 weist einen 8 nm dicken $\text{In}_{0,2}\text{Ga}_{0,8}\text{As}$ -
 Quantenfilm 5a mit beidseitig 10nm dicken GaAs-Barrieren auf,
 die allesamt eine Dotierung von $p = 5 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ besitzen. In
 10 einer alternativen Ausgestaltung kann das ausbleichbare
 Absorbermittel 5 undotiert sein.

Die relative Lage des ausbleichbaren Absorbermittels 5 im
 Stehwellenfeld 100 bestimmt die kritische mittlere
 15 Intensität, die für das Erreichen des Transparenzzustandes
 notwendig ist.

Die über der oberen GaAs-Barriere liegende $\text{Al}_{0,3}\text{Ga}_{0,7}\text{As}$ -
 Cladding-Schicht 52 ist im selben Maße wie die
 20 Trägereinfangsschicht 51 p-dotiert.

In Fig. 2 nach rechts anschließend ist eine Schicht 54 zur
 Erhöhung der Reflektivität des Bragg-Reflektors angeordnet.

25 Es folgt eine ca. 30nm dicke p-dotierte AlAs-Schicht 53, die
 nach selektiver Oxidation zur lateralen Stromeinschnürung im
 Bauelement dient.

Die aktiven Quantenfilme zur Lichtemission befinden sich in
 30 einem Bauch des optischen Stehwellenfeldes 100 in der
 Verarmungszone des pn-Übergangs.

Die beschriebene Struktur lässt sich in bekannter Weise zum
 Beispiel unter Verwendung von Protonenimplantation oder
 35 selektiver Oxidation als Vertikallaserdiode herstellen. Die
 Realisierung der beschriebenen Schichtenfolgen kann
 beispielsweise mit Molekularstrahlepitaxie erfolgen. Zur p-

Dotierung kann beispielsweise Kohlenstoff, zur n-Dotierung Si dienen. Die Herstellung ist auch mit metallorganischer Gasphasenepitaxie möglich.

- 5 Die erfindungsgemäße sättigbare Absorberschicht ist zur monolithischen Integration besonders gut geeignet und dabei für hohe optische Ausgangsleistung in der transversalen Grundmode vorteilhaft. Die Struktur erlaubt auch den selbstpulsierenden Betrieb von Vertikallaserdioden. Durch die
- 10 Trägerlebensdauer im sättigbaren Absorber, einstellbar durch dessen Dotierung oder kristalline Morphologie bzw. Zusammensetzung, lässt sich die Sättigungsintensität des Absorbers einstellen und auch die charakteristische Periode der Selbstoszillation regeln.

15

- Alternative Bauformen zu der skizzierten Ausführung mit mehreren dünnen ausbleichbaren Absorberschichten oder massiven sättigbaren Strukturen sind selbstverständlich möglich. Ebenso ist die Struktur nicht auf das InAlGaAs-
- 20 Halbleitersystem beschränkt, sondern lässt sich beispielsweise auch in den Materialsystemen InGaAsP (z.B. auf InP-Substrat) oder InAlGaAsN (z.B. auf Saphir-, SiC- oder GaAs-Substrat verwirklichen. Auch in II-VI-Halbleitersystemen wie z.B. ZnMgBeSse ist die Vertikallaserstruktur zu
- 25 realisieren.

Abhängig von der Emissionswellenlänge können GaAsN, InGaAsP, InAlGaAs oder InGaAsSbN auch als Absorbermittel 5 dienen.

- 30 Zur Verbesserung der Modenselektion sind auch Reliefstrukturen (z.B. Fresnel-Linsen) in den Spiegelschichten einsetzbar. Zu der Verbesserung der Modenselektion können auch Modulationsdotierungen beitragen.
- 35 Auch das Einbringen von Spacerschichten, insbesondere zwischen der aktiven Zone 4 und dem Absorbermittel 5 verbessert sich die Modenselektion.

In der hier beschriebenen Ausführungsform wird nur ein Absorbermittel in dem Vertikalresonator verwendet.

Grundsätzlich ist es in alternativen Ausführungsformen auch
5 möglich, das Prinzip der transversalen Modenselektion bei einer Integration mehrerer ausbleichbarer oder sättigbarer Absorbermittel zu verwenden. Dies bietet sich in dem Fall an, in dem z.B. mehrere aktive Schichten in einem Schichtenstapel vorgesehen sind, wie dies bei einer mehrstufigen vertikal
10 emittierenden Laserdiode (kaskadierte Laserdiode) erfolgt. In kaskadierten Laserdioden werden die aktiven Bereiche durch in Rückwärtsrichtung betriebene Tunnelndioden elektrisch miteinander gekoppelt, wodurch ein höherer optischer Gewinn im Vertikalresonator erreicht wird.

15

Der erhöhte optische Gewinn im Vertikalresonator führt zu einer verbesserten transversalen Modenselektion in den integrierten Absorbermedien.

20 In jedem Fall (d.h. bei einem oder mehreren Absorbermitteln 5) kann das optische Ausbleichen des Absorbers zusätzlich durch lokale Stromeinschnürung unterstützt werden.

Als Schichten des Absorbermittels 5 können p-, n- oder nicht-dotierte Schichten verwendet werden. Auch kann eine
25 Kombination dotierter (z.B. pn, pin) Schichten eingesetzt werden. Das Absorbermedium kann an beliebigen Stellen in der Laserstruktur integriert werden (z.B. in eine der Tunnelndioden).

30

Die Erfindung beschränkt sich in ihrer Ausführung nicht auf die vorstehend angegebenen bevorzugten Ausführungsbeispiele. Vielmehr ist eine Anzahl von Varianten denkbar, die von der erfindungsgemäßen Laserdiode auch bei grundsätzlich anders
35 gearteten Ausführungen Gebrauch machen.

Patentansprüche

1. Laserdiode mit einem Vertikalresonator
 5 gekennzeichnet durch
 ein Mittel zur Formung des Strahlprofils der Laserdiode,
 wobei das Mittel mindestens ein ausbleichbares Absorbermittel
 (5) im Vertikalresonator aufweist.
- 10 2. Laserdiode nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch
 mindestens einen pn-Übergang aus III-V- oder II-VI-Verbin-
 dungshalbleitermaterial.
3. Laserdiode nach Anspruch 1 oder 2,
 15 dadurch gekennzeichnet, dass mindestens ein
 Absorbermittel (5) monolithisch in eine Schichtenfolge
 integriert ist.
4. Laserdiode nach Anspruch 3, dadurch
 20 gekennzeichnet, dass mindestens ein Absorbermittel (5)
 im Fabry-Perot Resonator der Schichtenfolge angeordnet ist.
5. Laserdiode nach mindestens einem der vorhergehenden
 Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens
 25 ein Absorbermittel (5) außerhalb der Verarmungszone des pn-
 Über-gangs angeordnet ist.
6. Laserdiode nach mindestens einem der vorhergehenden
 Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens
 30 ein Absorbermittel (5) als Schicht im Vertikalresonator aus-
 gebildet ist, wobei die Dicke der Schicht klein gegen ein
 Viertel der Materialwellenlänge ist.
7. Laserdiode nach mindesten einem der vorhergehenden
 35 Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens
 ein Absorbermittel (5) als Schicht ausgebildet ist, wobei die
 Dicke der Schicht größer ist als ein Viertel der Materialwel-

lenlänge.

8. Laserdiode nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens ein Absorbermittel (5) ein Mittel zur Stromeinschnürung aufweist, insbesondere durch eine Kombination des Mediums des Absorbermittels mit einer Oxidblende oder Protonenimplantation.
9. Laserdiode nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch zwei elektrische Zuführungen, jeweils einen für den p- und n-Kontakt.
10. Laserdiode nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch ein Stromeinschnürungsmittel (53) im Vertikalresonator.
11. Laserdiode nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens eine Reflektorschicht (2, 6) eine Reliefstruktur, insbesondere eine Fresnel-Linse zur Verbesserung der Modenselektion aufweist.
12. Laserdiode nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass im Vertikalresonator mindestens eine Spacerschicht, insbesondere zwischen der Absorberschicht 50 und der aktiven Zone 4 angeordnet ist.
13. Laserdiode nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens eine Schicht des Vertikalresonators aus GaAsN oder InGaSbP besteht.
14. Optisches System, insbesondere ein CD-Player oder eine Datenübertragungsanlage, mit mindestens einer Laserdiode nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 13.

Zusammenfassung

5

Die Erfindung betrifft eine Laserdiode mit einem Vertikalresonator gekennzeichnet durch ein Mittel zur Formung des Strahlprofils der Laserdiode, wobei das Mittel mindestens ein
10 ausbleichbares Absorbermittel (5) aufweist. Damit wird eine Vertikallaserdiodenstruktur geschaffen, die eine stabile Strahlprofilformung ermöglicht.

Fig. 1

15